

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання практичних завдань,
самостійного вивчення курсу
та виконання розрахунково-графічної та контрольних робіт
з навчальної дисципліни

«СТАНДАРТИЗАЦІЯ І СЕРТИФІКАЦІЯ В СВІТЛОТЕХНІЦІ»

*(для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2018**

Методичні рекомендації до виконання практичних завдань, самостійного вивчення курсу та виконання розрахунково-графічної та контрольних робіт з навчальної дисципліни «Стандартизація і сертифікація в світлотехніці» (для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : П. І. Неєжмаков, К. І. Суворова, А. І. Колесник, Т. В. Можаровська. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 58 с.

Укладачі : д-р техн. наук П. І. Неєжмаков,
канд. техн. наук К. І. Суворова,
асист. А. І. Колесник,
Т. В. Можаровська

Рецензент

Л. Д. Гуракова, кандидат технічних наук, доцент кафедри світлотехніки і джерела світла Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою світлотехніки і джерел світла, протокол № 1 від 1 вересня 2017 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛІНИ.....	5
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ.....	6
3 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ.....	8
Практичне заняття № 1.....	8
Практичне заняття № 2.....	15
Практичне заняття № 3.....	19
Практичне заняття № 4.....	29
Практичне заняття № 5.....	41
Практичне заняття № 6.....	41
4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ.....	43
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51
ДОДАТКИ.....	54

ВСТУП

Самостійна робота студента є основним засобом оволодіння матеріалом дисципліни, засвоєння необхідних умінь і навичок у час, вільний від обов'язкових навчальних занять. Під час такої роботи використовується навчальна, спеціальна література, а також тексти лекцій.

Основні види самостійної роботи студента: підготовка та виконання практичних занять; підготовка до проміжного і поточного контролю; виконання завдань для самостійного опрацювання; вивчення питань для поглибленого вивчення дисципліни; виконання самодіагностики.

Метою викладання навчальної дисципліни «Стандартизація і сертифікація в світлотехніці» є формування професійних навичок та вмінь у галузі сучасних вимірювальних технологій та метрологічного забезпечення, національної системи стандартизації, впровадження міжнародних стандартів, проведення оцінки відповідності світлотехнічної продукції, добровільної сертифікації.

Основні завдання вивчення дисципліни:

- навчання методам стандартизації та метрологічного забезпечення світлотехніки, акредитації випробувальних центрів та лабораторій з метою захисту національних інтересів держави: вітчизняних товаровиробників та прав споживачів, інтеграції України у світову економіку;
- надання глибоких систематизованих знань основ стандартизації, сертифікації продукції і послуг, процедур оцінки відповідності та метрологічного забезпечення, як нормативно-правової бази у підвищенні якості та конкурентоспроможності світлотехнічної продукції;
- формування розуміння особливостей розвитку стандартизації в світлотехніці України на сучасному етапі розвитку економіки;
- засвоєння основних методів стандартизації світлотехнічної продукції;
- ознайомлення з сучасними загальними положеннями стандартизації, сертифікації продукції та послуг на міжнародному рівні.

У результаті вивчення предмета студенти повинні знати:

- основні терміни та визначення метрології, одиниці вимірювання, принципи та методи вимірювань;
- складові національної інфраструктури якості;
- установлення та застосування метрологічних норм і правил, необхідних для досягнення єдності та потрібної точності вимірювань;
- засоби вимірювальної техніки та їхню класифікацію, еталони, принципи метрологічної простежуваності;
- метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки, класи точності;
- форми надання результатів вимірювання; основні поняття теорії похибок та концепції невизначеності;

- основні принципи оцінювання невизначеності вимірювань у світлотехніці, пріоритетні напрями розвитку метрології;
- основні терміни стандартизації, теоретичні підстави стандартизації;
- категорії та види нормативних документів стандартизації, стандарти та системи якості;
- засади прийняття та впровадження міжнародних стандартів в Україні, участь України в міжнародній стандартизації;
- системи показників якості світлотехнічної продукції;
- порядок проведення робіт із оцінки відповідності в законодавчо-регульованій сфері та особливості сертифікації світлотехнічної продукції;
- технічні регламенти що стосуються світлотехнічної продукції, модулі оцінки відповідності, організацію проведення робіт із оцінки відповідності та добровільної сертифікації, порядок акредитації органів з оцінки відповідностей та випробувальних лабораторій.

Програма навчальної дисципліни складається з таких змістових модулів (ЗМ):

ЗМ 1 Національна інфраструктура якості. Метрологічна система. Оцінювання результатів вимірювань.

ЗМ 2 Стандартизація, сертифікація та оцінка відповідності в світлотехніці.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛІНИ

Для засвоєння дисципліни студенту необхідно вивчити такі теми:

Змістовий модуль 1. Національна інфраструктура якості. Метрологічна система. Оцінювання результатів вимірювань.

Тема 1. Метрологія. Метрологічна система України.

Тема 2. Одиниці вимірювання. Національні еталони. Метрологічна простежуваність.

Тема 3. Вимірювання. Результати вимірювання.

Змістовий модуль 2. Стандартизація, сертифікація та оцінка відповідності в світлотехніці.

Тема 4. Основи стандартизації.

Тема 5. Організація робіт зі стандартизації.

Тема 6. Сертифікація та якість продукції.

Тема 7. Оцінка відповідності.

Для опрацювання вказаних вище тем необхідно скористатися рекомендованою літературою.

2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

Змістовий модуль 1 Національна інфраструктура якості. Метрологічна система. Оцінювання результатів вимірювань

Тема 1 Метрологія. Метрологічна система України

Питання для самостійної роботи студента за темою 1:

Метрологія, стандартизація, сертифікація та акредитація – основні елементи національної інфраструктури якості. Загальні поняття про метрологію. Сфера законодавчо регульованої метрології в Україні. Метрологічна система України. Структура національної метрологічної служби. Міжнародні метрологічні організації та їх діяльність.

Тема 2 Одиниці вимірювання. Національні еталони. Метрологічна простежуваність

Питання для самостійної роботи студента за темою 2:

Фізичні величини. Узаконені одиниці вимірювань. Правила застосування одиниць вимірювання і написання назв та позначень одиниць вимірювання і символів величин. Національні еталони. Метрологічна простежуваність.

Тема 3 Вимірювання. Результати вимірювання

Питання для самостійної роботи студента за темою 3:

Теоретичні основи метрології. Чинники, що впливають на результат вимірювання. Забезпечення простежуваності вимірювань. Основні поняття теорії похибок. Основні поняття концепції невизначеності.

Змістовий модуль 2 Стандартизація, сертифікація та оцінка відповідності в світлотехніці

Тема 4 Основи стандартизації

Питання для самостійної роботи студента за темою 4:

Стандартизація як важлива складова технічного регулювання. Основна

термінологія стандартизації. Нормативно-правові та науково-методичні засади стандартизації. Форми стандартизації.

Тема 5 Організація робіт зі стандартизації

Питання для самостійної роботи студента за темою 5:

Національна система стандартизації України. Категорії і види нормативних документів. Державний нагляд за додержанням стандартів норм та правил. Міжнародні організації зі стандартизації – ISO, IEC. Структура ISO. Основні принципи розробки стандартів ISO. Етапи розробки стандартів ISO. Стандартизація в галузі світлотехніки. Міжнародна електротехнічна комісія – CIE. Технічні комітети CIE.

Тема 6 Сертифікація та якість продукції

Питання для самостійної роботи студента за темою 6:

Загальні положення. Сутність, мета сертифікації. Основна термінологія у сфері сертифікації. Види сертифікації. Схеми (моделі) сертифікації продукції. Національна система сертифікації України – УкрСЕПРО. Порядок проведення робіт із сертифікації. Сертифікація в провідних зарубіжних країнах (Німеччина, Франція, Японія, США). Екологічна сертифікація.

Показники якості продукції й методи їхнього визначення. Система загального управління якістю. Система якості й стандарти серії ISO 9000. Концепція системи якості в світлотехніці. Управління процесами надання послуги.

Тема 7 Оцінка відповідності

Питання для самостійної роботи студента за темою 7:

Оцінка відповідності. Загальні положення. Модулі оцінки відповідності. Етапи проведення робіт із оцінки відповідності за модулем В. Вимоги до органів із оцінки відповідності. Маркування СЄ. Технічні регламенти. Директиви ЄС. Новий та глобальний підходи. Особливості оцінки відповідності світлотехнічної продукції. Міжнародна співпраця у сфері оцінки відповідності.

3 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ

Практичне заняття 1 Фізичні величини

Безліч фізичних об'єктів, що оточують людину, мають різні якості та властивості.

Властивість – це філософська категорія, що виражає сторону об'єкта (тіла, процесу, явища), яка зумовлює його відмінність чи схожість із іншими об'єктами (явищами, процесами) та виявляється в його ставленні до них. Властивість характеризує об'єкт на *якісному* рівні. Для кількісного опису різних властивостей об'єктів, процесів і фізичних тіл вводять поняття **величини**. У метрології переважно мають справу з **фізичними величинами** (ФВ).

Під **фізичною величиною** розуміють одну з властивостей фізичного об'єкта (фізичної системи, явища або процесу), спільну в якісному відношенні для багатьох фізичних об'єктів, але в кількісному відношенні індивідуальну для кожного. Наприклад, усі деталі мають такі спільні властивості, як просторові розміри, маса, твердість, але для кожної кількісної характеристики цих властивостей індивідуальні.

Сукупність ФВ, утворена відповідно до прийнятих принципів, коли одні величини приймають за незалежні, а інші визначають як функції незалежних величин, називається **системою фізичних величин**.

Фізична величина, що входить до системи величин та умовно прийнята як незалежна від інших величин цієї системи, називається **основною**.

Похідною є ФВ, що входить до системи величин і визначається через основні величини цієї системи.

Формалізованим відображенням якісної відмінності ФВ є їхня **розмірність**. Відповідно до міжнародного стандарту ISO 31-0 розмірність ФВ позначають символом **dim**, що походить від англійського слова *dimension*, яке залежно від контексту може перекладатися як «розмір» або «розмірність».

Розмірність основних ФВ позначають відповідними заголовними буквами. Наприклад, розмірність довжини l , маси m і часу t , що входять до більшості систем ФВ як основні, позначають так:

$$\dim l = L, \quad \dim m = M, \quad \dim t = T.$$

Під час визначення розмірності похідних величин керуються такими правилами:

а) розмірності правої та лівої частин рівняння не можуть бути розбіжними, тобто порівнюватися між собою можуть лише однакові властивості;

б) алгебра розмірностей мультиплікативна, тобто складається з однієї єдиної дії – множення;

в) розмірність множини кількох величин дорівнює множині їх ніж розмірностей. Отже, якщо залежність між значеннями величин Q, A, B, C має вигляд $Q = ABC$, то $\dim Q = \dim A \cdot \dim B \cdot \dim C$;

г) розмірність частки від ділення однієї величини на іншу дорівнює відношенню їхніх розмірностей, тобто якщо $Q = A / B$, то $\dim Q = \dim A / \dim B$.

Розмірність будь-якої величини, зведеної в деяку ступінь, дорівнює її розмірності тією ж мірою. Отже, якщо $Q = A^n$, то

$$\dim Q = \prod_t^n \dim A = \dim^n A$$

Таким чином, завжди можна виразити розмірність похідної ФВ через розмірності основних ФВ за допомогою ступеневого одночлена:

$$\dim Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma I^\delta \Theta^\varepsilon N^\zeta J^\eta, \quad (1.1)$$

де $L, M, T \dots$ – розмірності відповідних основних ФВ;

$\alpha, \beta, \gamma \dots$ – показники розмірності.

Кожен із показників розмірності може бути позитивним чи негативним, цілим або дробовим числом, нулем. Якщо всі показники розмірності дорівнюють нулю, то така величина називається **безрозмірною**. Вона може бути відносною, яку визначають як відношення однойменних величин (наприклад, відносна діелектрична проникність), і логарифмічною, що визначається як логарифм відносної величини (наприклад, логарифм відносини потужностей або напруг).

Позначення розмірностей основних величин згідно з ISO наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Позначення розмірностей основних величин згідно ISO

Base quantity Основна величина	Symbol for dimension Позначення для розмірності
1 length довжина	L
2 mass маса	M
3 time час	T
4 electric current електричний струм	I
5 thermodynamic temperature термодинамічна температура	Θ
6 amount of substance кількість речовини	N
7 luminous intensity сила світла	J

Префікси кратних та частинних одиниць

Кратні одиниці – одиниці, які на цілу ступінь десятки перевищують основну одиницю вимірювання деякої фізичної величини.

Частинні одиниці в цілу ступінь десятки менше від встановленої одиниці вимірювання деякої величини.

Міжнародна система одиниць SI рекомендує префікси для позначень кратних та частинних одиниць, що наведені у додатку А.

Назви всіх префіксів, якщо вони не починають речення, завжди пишуться з рядкової букви. Позначення кратних префіксів, крім кіло, гекто, дека, пишуться з великої букви, позначення всіх часткових префіксів завжди пишуться з рядкової букви.

Префікс пишеться разом з назвою базової одиниці та утворює з нею одне слово. Наприклад, міліметр, мегават, мікрофарад – це все одні слова.

Використання двох або більше префіксів підряд не дозволяється. Наприклад, величину 10^{-9} фарад необхідно позначати нанофарад, а не, наприклад, мікроміліфарад.

Приєднанням префіксу до одиниці утворюється нова нерозривна одиниця. Ця нова одиниця може бути зведена до позитивного або негативного

ступеня та/або об'єднана з іншими одиницями для утворення складених одиниць.

Наприклад:

$$2,54 \text{ см}^3 = 2,54 (\text{см})^3 = 2,54 (10^{-2} \text{ м})^3 = 2,54 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$1 \text{ см}^{-1} = 1 (\text{см})^{-1} = 1 (10^{-2} \text{ м})^{-1} = 10^2 \text{ м}^{-1} = 100 \text{ м}^{-1};$$

$$1 \text{ В/см} = (1 \text{ В})/(10^{-2} \text{ м}) = 10^2 \text{ В/м} = 100 \text{ В/м}.$$

Якщо одиниця є добутком або відношенням одиниць, префікс, або його позначення приєднують, зазвичай, до найменування або позначення першої одиниці: кПа·с/м (кілопаскаль-секунда на метр). Приєднувати префікс до другого множника добутку або до знаменника допускається лише в обґрунтованих випадках.

Основи теорії розмірності

Теорію розмірності повсюдно застосовують для переведення одиниць з однієї системи в іншу, для оперативної перевірки правильності формул тощо. Формальне застосування алгебри розмірностей іноді дозволяє визначити невідому залежність між ФВ.

У загальному вигляді рівняння зв'язку між числовими значеннями ФВ можна записати у вигляді

$$Q = KX^{\alpha} Y^{\beta} Z^{\gamma} \dots, \quad (1.2)$$

де K – коефіцієнт пропорційності, що залежить від обраної системи одиниць.

Кількісною характеристикою будь-якої властивості ФВ є **розмір**, хоча не прийнято говорити «розмір довжини», «розмір маси», «розмір ціни», «розмір показника якості». Кажуть просто «довжина», «маса», «ціна», «показник якості».

Розмір фізичної величини – це кількісне визначення ФВ, притаманне конкретному матеріальному об'єкту, системі, явищу або процесу.

Розмір ФВ потрібно відрізнити від значення фізичної величини – виразу розміру ФВ у вигляді деякого числа прийнятих для неї одиниць. Наприклад: 0,001 км; 1 м; 100 см; 1 000 мм – чотири значення подання того самого розміру.

Складова частина значення – числове значення фізичної величини, тобто обернене число, яке входить до значення величини. Воно показує, на скільки одиниць розмір більше нуля або у скільки разів він більше розміру, прийнятого за одиницю вимірювання.

Отже, значення ФВ виражається через розмір одиниці вимірювань $[Q]$ і числове значення q у такий спосіб:

$$Q = q[Q] \quad (1.3)$$

або

$$Q = nU,$$

де Q – вимірювана фізична величина;

U – одиниця вимірюваної фізичної величини;

n – відношення вимірюваної фізичної величини до одиниці фізичної величини.

Це рівняння називають *основним рівнянням вимірювання*. Сутність найпростішого вимірювання полягає в порівнянні Q з розмірами багатозначної міри $q[Q]$. У результаті порівняння отримують:

$$q[Q] \setminus (q+1)[Q].$$

Задачі до практичної роботи № 1

Задача 1. Визначити розмірність фізичної величини за поданим рівнянням.

Приклад розв’язання:

Визначити розмірність потужності N за таким рівнянням:

$$N = Fl / t,$$

де F – діюча сила;

l – довжина плеча прикладання сили;

t – час прикладання сили.

Діюча сила визначається за таким рівнянням:

$$F = ma,$$

де m – маса;

a – прискорення.

Прискорення визначається за таким рівнянням:

$$a = \Delta V / \Delta t,$$

де ΔV – зміна швидкості тіла за час Δt .

Порядок виконання завдання:

1. Визначити розмірність прискорення, враховуючи, що розмірність швидкості позначається L / T , а часу – T :

$$\dim a = L / T^{-1} / T = LT^{-2}.$$

2. Знайти розмірність діючої сили, враховуючи, що розмірність маси позначається M :

$$\dim F = MLT^{-2}.$$

3. Підставляючи в формулу потужності розмірність сили, обчислити розмірність потужності:

$$\dim N = MLT^{-2} L / T = ML^2 T^{-3}.$$

Задача 2. З якими одиницями фізичних величин здійснювалося порівняння об'єктів, якщо в результаті вимірювань було отримано наступні значення: 1 г; 10 Н; 3 Тл; 20 кг; 5 А; 0,1 В?

Відповідь. 1 кілограм; 1 ньютон; 1 тесла; 1 кілограм; 1 ампер; 1 вольт.

Задача 3. Застосуйте інші одиниці для вираження результатів вимірювань, наведених у попередній задачі. Як при цьому зміниться фізичний розмір величини та її числове значення?

Відповідь. Наприклад: 0,001 кг; 0,01 кН; 300 мТл; 0,02 т; 5 000 мА; 100 мВ. Фізичний розмір величин залишається незмінним, числове значення змінюється.

Задача 4. Проаналізуйте основне рівняння вимірювання на прикладі вимірювання довжини відрізка прямої в 5 см за допомогою лінійки, що має поділки в сантиметрах і міліметрах.

Відповідь. У нашій задачі

$$Q_1 = 5 \text{ см при } n_1 = 5 \text{ і } U_1 = 1 \text{ см};$$

$$Q_2 = 50 \text{ мм при } n_2 = 50 \text{ і } U_2 = 1 \text{ мм}.$$

Довжина відрізка прямої (розмір його фізичної величини) не змінилася; дійсно $Q_1 = Q_2$, оскільки 5 см = 50 мм, водночас застосування різних одиниць (1 см і 1 мм) спричинило зміну числового значення результату вимірювань.

Задача 5. Що характеризують розміри, позначення одиниць і числові значення в наступних результатах вимірювань: 20 г/см^3 (густина); 18 А (сила електричного струму); $30 \text{ }^\circ\text{С}$ (температура); 10 м/с^2 (прискорення); 1 Дж/К (теплоємність); 1 лк (освітленість), 3 кд/м^2 (яскравість). Визначте розмірності в загальному вигляді.

Відповідь. Наведені в умові задачі фізичні величини (у дужках) характеризуються розміром вимірюваних фізичних величин: числові значення позначені цифрами, розмірність міститься в умовних позначеннях одиниць фізичних величин.

У загальному вигляді для кожного результату вимірювань розмірності можуть бути записані згідно з (1.1), тобто використанням символів (L – довжина, M – маса, T – час, I – сила струму, Θ – температура, J – сила світла); α , β , γ , ε , η , λ (η) – показники ступеня, з яким основна величина входить у рівняння при визначенні похідної величини.

Тоді:

- для густини $\dim(S) = L^{-3} M$;
- для сили електричного струму $\dim(I) = I$;
- для температури $\dim(t) = \Theta$;
- для прискорення $\dim(a) = LT^{-2}$;
- для теплоємності $\dim(C_0) = L^2 MT^{-2} \Theta^{-1}$;
- для освітленості $\dim(E) = L^{-2} J\Omega$;
- для яскравості $\dim(L) = L^{-2} J$.

Практичні задачі для самостійної роботи

Задача 1. Розглянемо поняття: смак, довжина, маса, запах, естетичність, швидкість, тиск. Які з цих понять мають бути зараховані до властивостей речовин, а які до фізичних величин, що характеризують властивості?

Задача 2. Сформулюйте відмінність між рядами величин: 1 ; 3 ; $0,5$ і 10 і 1 кг ; 3 хв ; $0,5 \text{ л}$; 10 см .

Задача 3. Основною одиницею для електричних величин у Міжнародній системі одиниць фізичних величин є ампер (А). Яка залежність визначає похідну одиницю електричної напруги – вольт (В)?

Задача 4. Яке твердження більш правильне: кілограм – це маса одного кубічного дециметра чистої води за температури $+4 \text{ }^\circ\text{С}$, або кілограм – це маса

міжнародного прототипу кілограма – еталона, що зберігається в Бретейльському павільйоні парку Сен-Клу в околицях Парижа?

Задача 5. Виразити у системі SI. Довідкову інформацію наведено у додатку Б.

Варіанти завдань:

1. Чутно за версту.
2. Скаженому собаці сім верст не гак.
3. Коса сажень у плечах.
4. Міряти всіх на свій аршин.
5. Від горщика двоє вершків.
6. Сто пудів.
7. Сім п'ядей у чолі.
8. Мал золотник, та дорог.
9. Іти семимильними кроками.
10. Довідатися, почому фунт лиха.
11. Ні п'яді землі (не поступитися).
12. Якого росту була Дюймовочка?
13. Сім п'ядей у чолі!

Практичне заняття 2 Шкали фізичних величин

Для кількісного або якісного формування уявлення про властивості об'єкта використовують шкали вимірювань цих властивостей.

Потрібно розрізняти два співзвучних, але різних за змістом поняття: «шкала вимірювань» і «шкала засобу вимірювання», що є однією з метрологічних характеристик засобів вимірювань. Шкала вимірювання кількісної властивості є шкалою ФВ.

Шкала фізичної величини – це впорядкована сукупність значень ФВ, яка є вихідною основою для вимірювань певної величини.

Побудова шкал ФВ заснована на логічних відносинах, що існують поміж елементами безлічі різних проявів властивості в конкретних об'єктах. Це відношення:

- еквівалентності, у яких властивості X у різних об'єктів A і B виявляються однаковими або неоднаковими;
- порядку, у яких подані властивості X у різних об'єктів виявляються більше або менше;

– адитивності, коли однакові властивості різних об'єктів можуть підсумовуватись.

Розрізняють *п'ять основних типів* шкал:

- шкала найменувань;
- шкала порядку (рангу);
- шкала інтервалів (різниць);
- шкала відношень;
- абсолютна шкала.

Елементи (ступені) *шкали найменувань* характеризуються тільки співвідношеннями еквівалентності (збігу, рівності, подібності) конкретних якісних проявів властивостей. Ці властивості не можна вважати ФВ, тому шкали такого виду не є шкалами ФВ. Шкала найменувань – це якісна шкала, вона не містить кількісну інформацію, у ній немає нуля й одиниці вимірювань. Це найпростіший тип шкал, що ґрунтується на приписуванні якісним властивостям об'єктів чисел, які відіграють роль імен.

Оскільки ці шкали характеризуються тільки відношеннями еквівалентності, то в них відсутні поняття нуля, «більше» або «менше» і одиниці вимірювання. Прикладом шкал найменувань є широко розповсюджені атласи кольорів, призначені для ідентифікації кольору. Процес вимірювання полягає в візуальному порівнянні пофарбованого предмета із еталонними зразками атласу.

Елементи *шкали порядку (рангу)* допускають логічний взаємозв'язок елементів не тільки у вигляді відношень еквівалентності (як у шкал найменувань), а й відношень порядку за зростанням або зменшенням кількісного прояву вимірюваної властивості. Отриманий при цьому упорядкований ряд називають ранжируванням, а саму процедуру – ранжируванням. Ранжируваний ряд може дати відповідь на питання типу «що більше (менше)» або «що краще (гірше)». Більш детальну інформацію – на скільки більше або менше, у скільки разів краще або гірше, шкала порядку дати не може. Шкали порядку – характеризують значення вимірюваної величини в балах. Характерним прикладом шкал порядку є існуючі шкали чисел твердості тіл, шкали балів землетрусів, шкали балів вітру, шкала оцінки подій на АЕС тощо.

Вузькоспеціалізовані шкали порядку широко застосовуються в методах випробувань різної продукції. Результати вимірювань в шкалах твердості, наприклад, виражаються в числах твердості за Бринелем, Вікерсом, Роквелом, Шору, а не в одиницях вимірювань.

Шкали різниць (інтервалів) – відрізняються від шкал порядку тим, що для описуваних ними властивостей мають сенс не тільки співвідношення

еквівалентності та порядку, а й підсумовування інтервалів (різниць) між різними кількісними проявами властивостей. Така шкала складається з однакових інтервалів, має одиницю вимірювання і довільно вибраний початок – нульову точку.

Характерний приклад – шкала інтервалів часу. Інтервали часу (наприклад, періоди роботи, періоди навчання) можна додавати та віднімати, але складати дати будь-яких подій безглуздо.

Інший приклад, шкала довжин (відстаней) просторових інтервалів визначається шляхом поєднання нуля лінійки з однією точкою, а відлік робиться в іншій точці. До цього типу шкал належать і шкали температур за Цельсієм, Фаренгейтом, Реомюр.

Шкали різниць мають умовні (прийняті за угодою) одиниці вимірювань і нулі, що спираються на будь-які *репери*.

Великого поширення набули шкали порядку з нанесеними на них реперними (від фр. Repere – вихідна точка) точками. До таких шкал, наприклад, належить шкала Мооса для визначення твердості мінералів, яка містить 10 опорних (реперних) мінералів із різними умовними числами твердості: тальк – 1, гіпс – 2, кальцій – 3, флюорит – 4, апатит – 5, ортоклаз – 6, кварц – 7, топаз – 8, корунд – 9, алмаз – 10. Віднесення мінералу до тієї чи іншої градації твердості здійснюється на підставі експерименту, який полягає в тому, що випробуваний матеріал дряпається опорним. Якщо після дряпання випробуваного мінералу кварцом (7) на ньому залишається слід, а після ортоклазу (6) – не залишається, то твердість випробуваного матеріалу становить більше 6, але менше 7. Більш точної відповіді в цьому випадку дати неможливо.

До шкал цього типу належить літочислення за різними календарями, у яких за початок відліку взято або створення світу, або Різдво Христове тощо. Температурні шкали Цельсія, Фаренгейта і Реомюра також є шкалами інтервалів.

Шкалу інтервалів величини Q можна уявити у вигляді наступного рівняння

$$Q = Q_0 + q[Q], \quad (2.1)$$

де q – числове значення величини;

Q_0 – початок відліку шкали;

$[Q]$ – одиниця аналізованої величини.

Тобто шкала повністю визначається Задачам початку відліку Q_0 шкали й одиниці цієї величини $[Q]$.

Шкали відношень – шкали з безліччю кількісних проявів, до яких застосовні співвідношення еквівалентності, порядку та адитивності, а отже, операції віднімання, множення і підсумовування. У шкалі відношень існує нульове значення показника властивості. З формального погляду шкала відношень є шкалою інтервалів із природним початком відліку. Прикладом є шкала термодинамічної температури, де за початок відліку взято абсолютний нуль, а також шкала довжин. Будь-яке вимірювання за шкалою відношень полягає в порівнянні невідомого розміру з відомим і вияві першого через другий у кратному або частинному виразі.

Шкали відношень – найдосконаліші. Вони описуються рівнянням (1.3):

$$Q = q[Q],$$

де Q – ФВ, для якої будується шкала;

$[Q]$ – її одиниця вимірювання;

q – числове значення ФВ.

Перехід від однієї шкали відношень до іншої відбувається відповідно до рівняння $q_2 = q_1[Q_1]/[Q_2]$.

Під **абсолютними** розуміють шкали, що мають усі ознаки шкал відношень, але додатково мають природне однозначне визначення одиниці вимірювань і не залежать від прийнятої системи одиниць вимірювання. Такі шкали відповідають відносним величинам: коефіцієнту підсилення, ослаблення та ін. Для утворення багатьох похідних одиниць у системі SI використовуються безрозмірні та рахункові одиниці абсолютних шкал.

Шкали найменувань і порядку називають неметричними (концептуальними), а шкали інтервалів і відношень – метричними (матеріальними). Абсолютні й метричні шкали належать до розряду лінійних. Практична реалізація шкал вимірювань здійснюється шляхом стандартизації як самих шкал і одиниць вимірювання, так і, у необхідних випадках, способів та умов їх однозначного відтворення.

Запитання для самоконтролю:

1. На яких головних логічних відносинах засновано побудову шкали ФВ?
2. Подайте характеристику шкали найменувань?
3. У чому полягає різниця між шкалою інтервалів та відношень?
4. Наведіть приклади застосування шкали порядку.
5. Що називається реперними точками?

Практичне заняття 3 Визначення похибок вимірювання

Клас точності – це узагальнена характеристика засобів вимірювань цього типу, яка, зазвичай, відображає їхню точність, виражена межами допустимих основної та додаткових похибок, а також іншими характеристиками, що впливають на точність вимірювань. Для встановлення класу точності засобів вимірювань застосовують загальні правила, відповідно до яких проводять кількісну оцінку гарантованих границь похибки засобів вимірювань цього типу. Клас точності не встановлюють для засобів вимірювань, у яких окремо нормують систематичну і випадкову складові основної похибки і для яких істотні динамічні похибки.

Класи точності присвоюють при розробці засобів вимірювань за результатами приймальних випробувань. У зв'язку з тим, що в процесі експлуатації засобів вимірювань їх метрологічні характеристики зазвичай погіршуються, то допускається знижувати клас точності за результатами перевірки або калібрування засобу вимірювання. Визначаючи клас точності, нормують (встановлюють) насамперед межі допустимої основної похибки. У низці випадків разом із основною нормують межі допустимої додаткової похибки, форма представлення якої може відрізнятися від форми представлення основної похибки.

Засоби вимірювань повинні відповідати вимогам щодо метрологічних характеристик, встановлених для присвоєного їм класу точності як під час випуску їх з виробництва, так і в процесі експлуатації.

Форми подання похибок під час встановлення класів точності

1 спосіб. Межі основної абсолютної Δ похибки встановлюють у вигляді одночленної формули:

$$\Delta = \pm a, \quad (3.1)$$

або у вигляді двочленної формули

$$\Delta = \pm(a + bx), \quad (3.2)$$

де x – значення вимірюваної величини,

a і b – додатні числа, не залежні від x .

Δ і x виражаються в одиницях вимірюваної величини або в поділках шкали приладу.

Абсолютна похибка виражається одним числом (формула (3.1), якщо вона має адитивний характер, і двочленом (формула (3.2), якщо вона має адитивно-мультиплікативний характер.

2 спосіб. Межі основної зведеної γ похибки встановлюють за формулою:

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{X_n} \cdot 100\% = \pm p\%, \quad (3.3)$$

де Δ – межі допустимої абсолютної похибки, яка встановлюється за формулою 2.1,

X_n – нормоване значення, виражене в тих одиницях, що і Δ ,

p – абстрактне додатне число, що обирається з ряду:

$$1 \times 10n; 1.5 \times 10n; 2 \times 10n; 2.5 \times 10n; 4 \times 10n; 5 \times 10n; 6 \times 10n,$$

де $n = 1, 2, -1, -2$ і т.д.

У цьому випадку абсолютна похибка має адитивний характер. Нормоване значення X_n відповідає верхній межі вимірювань для засобів вимірювань з рівномірною або степеневою шкалою з нульовим значенням на краю або поза діапазону вимірювань. Для електровимірювальних приладів із нульовою відміткою всередині діапазону вимірювань X_n допускається встановлювати рівним сумі модулів меж вимірювань. Для засобів вимірювань, для яких прийнята шкала з умовним нулем, X_n дорівнює модулю різниці меж вимірювань. Для засобів вимірювань із встановленим номінальним значенням X_n дорівнює номінальному.

3 спосіб. Межі основної відносної похибки встановлюють за формулою:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x} \cdot 100\% = \pm q\% \quad , \quad (3.4)$$

де $\Delta = bx$, $b = \operatorname{tg} \alpha$.

q – абстрактне позитивне число, вибирається з ряду, наведеного вище, або формулою (3.5):

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x} \cdot 100\% = \pm \left[c + d \left(\frac{x_k}{x} - 1 \right) \right] \% , \quad (3.5)$$

де $\Delta = \pm(a + bx)$;

X_k – більший за модулем із меж вимірювання засобу вимірювання;

c і d – абстрактні додатні числа, вибрані з ряду, наведеного вище.

Формула (3.4) застосовується, якщо похибка засобу вимірювання Δ має мультиплікативний характер, а формулу (3.5) – за адитивно-мультиплікативного характеру Δ .

Позначення класів точності

Зазвичай клас точності вказується у вигляді арабських або римських цифр, а також букв латинського алфавіту. Позначення класів точності наносять на циферблати і корпуси засобів вимірювань, наводять у нормативних і технічних документах. Позначення класів точності застосовується в залежності від способів Задача меж допустимих похибок.

Можливі чотири варіанти позначення класу точності.

1 Варіант. Якщо межі основної похибки виражені в абсолютній формі (формули (3.1), (3.2)), то клас точності засобу вимірювання позначають заголовними буквами латинського алфавіту (наприклад: А, В, С) або римськими цифрами (I, II, III тощо). Відповідність букв значенням абсолютної похибки розкривається в технічній документації на цей засіб вимірювання. Зазвичай чим далі буква від початку алфавіту, тим більше значення абсолютної похибки (наприклад, прилад класу В більш точний, ніж класу С).

2 Варіант. Якщо межі основної похибки виражені у зведеній формі (формула (3.3)), то клас точності засобів вимірювань позначається арабською цифрою (можливі додаткові умовні знаки), що вказує межу допустимої похибки. Наприклад, клас точності приладу 1,5 означає, що $\gamma = \pm 1,5 \%$.

3 Варіант. Якщо межі основної похибки виражені у відносній формі (формула (3.4)), то клас точності засобів вимірювань позначається арабською цифрою обведеною колом, що вказує межу допустимої похибки. Наприклад, клас точності приладу 0,5 означає, що $\delta = \pm 0,5 \%$.

4 Варіант. Якщо межі основної похибки виражені у відносній формі (формула (3.5)), то клас точності засобів вимірювань позначається двома

цифрами, відповідними значеннями c і d . Наприклад, клас точності приладу 0,02/0,01 означає, що $c = 0,02$ і $d = 0,01$.

У таблиці 3.1 наведено приклади позначення класів точності в документації і на засобах вимірювання.

Таблиця 3.1 – Класи точності засобів вимірювання

Формула для визначення границь допустимої похибки	Приклади границь допустимої основної похибки, %	Позначення класу точності	
		В документації	На засобі вимірювання
1	2	3	4
$\Delta = \pm a$ $\Delta = \pm(a + bx)$	-	Клас точності М, клас точності ІІІ	М, ІІІ
$\gamma = \pm \frac{\Delta}{X_n} \cdot 100 \% = \pm p \%$	$\gamma = \pm 1,5 \%$	Клас точності 1,5	1,5
	$\gamma = \pm 0,5 \%$	Клас точності 0,5	<u>0,5</u>
$\delta = \pm \frac{\Delta}{x} \cdot 100 \% = \pm q \%$	$\delta = \pm 0,5 \%$		⓪,5
$\delta = \pm \frac{\Delta}{x} \cdot 100 \% = \pm \left[c + d \left(\frac{x_k}{x} - 1 \right) \right] \%$	$\delta = \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\frac{x_k}{x} - 1 \right) \right] \%$		0,02/0,01

Задачі до практичної роботи № 3

Задача 1. Люксметр з діапазоном вимірювання 0 ... 5 000 лк має клас точності 0,02/0,01. Необхідно визначити, чому дорівнює освітленість за показу 900 лк.

Приклад розв'язання:

Клас точності приладу вказує на нормування меж допустимої відносної похибки приладу. Спочатку визначимо значення цих меж за формулою (3.5):

$$\delta = \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\frac{5000}{900} - 1 \right) \right] \% = \pm 0,065 \%$$

Потім обчислимо межі допустимої абсолютної похибки, використовуючи формулу (3.4):

$$\Delta = \pm \frac{\delta \cdot x}{100 \%} = \pm \frac{0,065 \% \cdot 900}{100 \%} = \pm 0,59$$

Отже, освітленість дорівнює $(900 \pm 0,59)$ лк.

Задача 2. Для приладу розрахувати значення абсолютних, відносних та приведених основних похибок вимірювань. Варіанти у таблиці В1 (дод. В). Результати оформити у вигляді таблиці.

Приклад розв'язання:

Номер	Назва	Клас точності	Шкала вимірювання	Виміряні значення
17	Люксметр	0,003	0...4 000 лк	40, 200, 400, 800, 1 000, 1 200, 1 600, 2 000 лк

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку значень похибок

Виміряне значення, X	ΔX	δX	γX
1	2	3	4
I			
...			
$n-1$			
n			

У перший стовпчик таблиці вписуємо задані виміряні значення в умові задачі. Клас точності люксметра вказано без кружка, то ж приведена похибка, виражена у відсотках, у всіх точках шкали не повинна перевищувати по модулю класу точності $|\gamma E| \leq 0,003 \%$. Під час розв'язання задачі розглянемо найгірший випадок $|\gamma E| = 3 \%$, коли приведена похибка приймає максимальне по абсолютній величині значення, що відповідає $\gamma E = +0,003 \%$ та $\gamma E = -0,003 \%$. Данні значення приведеної похибки заносимо в стовпець 4.

Тепер розрахуємо значення абсолютної похибки з формули (3.3):

$$\Delta = \pm \frac{\gamma \cdot X_n}{100 \%}$$

За нормуюче значення приймаємо $X_n = |4000 - 0| = 4000$ лк. Абсолютна похибка в усіх точках приладу

$$\Delta = \pm \frac{0,003 \cdot 4000}{100 \%} = \pm 0,12 \text{ лк.}$$

Записуємо розраховані дані в 2 стовпець таблиці.

Значення відносної похибки розрахуємо за формулою (3.4):

За $E = 40$ лк отримуємо

$$\delta = \pm \frac{0,12}{40} \cdot 100 \% = \pm 0,3 \%$$

При $E = 800$ лк отримуємо

$$\delta = \pm \frac{0,12}{800} \cdot 100 \% = \pm 0,015 \%$$

Таблиця – Результати розрахунку значень похибок

Виміряне значення, E , лк	ΔE , лк	δE , %	γE , %
1	2	3	4
40	$\pm 0,12$	0,3 %	$\pm 0,003$
200	$\pm 0,12$	0,06 %	$\pm 0,003$
400	$\pm 0,12$	0,03 %	$\pm 0,003$
800	$\pm 0,12$	0,015 %	$\pm 0,003$
1000	$\pm 0,12$	0,012 %	$\pm 0,003$
1200	$\pm 0,12$	0,01 %	$\pm 0,003$
1600	$\pm 0,12$	0,0075 %	$\pm 0,003$
2000	$\pm 0,12$	0,006 %	$\pm 0,003$

Задача 3. Виконати статистичну обробку результатів вимірювання, наведених у таблиці 3.3. Значення довірчої вірогідності подано у додатку В (табл. В2) та обирається відповідно до варіанта.

Під час статистичного оброблення потрібно використовувати результати спостережень при багаторазових вимірах для варіантів:

- 1, 2, 3, 4, 5, 6, – значення освітленості;
 7, 8, 9, 10, 11, – значення яскравості;
 12, 13, 14, 15, 16 – значення потужності.

Таблиця 3.3 – Результати вимірювань

Кількість спостережень	E , лк	L , кд/м ²	P , Вт	Кількість спостережень	E , лк	L , кд/м ²	P , Вт
1	979,1	99,1	40,92	9	976,5	99,5	40,95
2	979,5	99,5	40,94	10	979,4	97,9	40,92
3	978,9	98,9	40,91	11	979,7	99,7	40,99
4	978,4	99,4	40,98	12	976,1	99,2	40,96
5	979,6	99,6	40,96	13	976,5	99,5	40,95
6	1002,5	99,3	40,37	14	979,7	99,1	40,97
7	979,3	99,4	40,97	15	978,9	99,5	40,96
8	979,3	99,9	40,93	16	979,6	98,9	40,94

Результати розрахунку зводяться до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати обчислень

Номер спостереження	Результати спостережень		Відхилення від середнього $\Delta x_i = x_i - \bar{x}$		$(\Delta x)^2 = (x_i - \bar{x})^2$	
	первинні	після виключення грубих похибок	за первинними спостереженнями	після виключення грубих похибок	за первинними спостереженнями	після виключення грубих похибок
1						
2						
3						
...						
n						
$n =$	$\bar{x} =$	$\bar{x} =$	$\sum_{i=1}^n \Delta x_i \approx 0$	$\sum_{i=1}^n \Delta x_i \approx 0$	$\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2 =$	$\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2 =$

Приклад розв'язання:

1. Значення результатів спостереження впорядковують за зростаючим значенням у варіаційний ряд x_1, x_2, \dots, x_n .

Варіаційний ряд результатів спостереження при вимірюванні потужності P (число спостережень $n = 10$): 9,992; 9,995; 9,997; 9,999; 10,000; 10,001; 10,003; 10,005; 10,007; 10,121 Вт.

2. Визначають середнє арифметичне значення результатів спостережень за формулою:

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n P_i = 10,012 \text{ Вт.}$$

3. Обчислюють оцінку середнього квадратичного відхилення результатів спостережень, тобто

$$\sigma_x = S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \cdot \frac{1}{n-1}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (P_i - 10,012)^2 \cdot \frac{1}{10-1}} = 0,04 \text{ Вт.}$$

4. Якщо значення x_i різко відрізняються від інших членів варіаційного ряду (промах, груба похибка), то їх відкидають і в обробці результатів спостережень не враховують. Для перевірки виду похибки (груба або значна випадкова) використовується статистичний критерій виявлення грубих похибок (ГОСТ 11.002-73).

Сутність статистичного способу оцінки результатів спостережень полягає в тому, що грубими визнають ті похибки, ймовірність появи яких не перевищує деякого, заздалегідь обраного критерію.

Скористаємося відбраківкою деяких результатів вимірів за критерієм перевищення відхилення середнього подвоєного значення середнього квадратичного відхилення результатів спостережень $\Delta P_i = (P_i - \bar{P}) > 2S$.

У разі виявлення грубих похибок результати спостережень, що їх містять, виключаються, і математична обробка повторюється. Для цього ряду перевіримо значення $P_{10} = 10,121$ Вт.

$$\Delta P_i = 10,121 - 10,012 = 0,109 \text{ Вт}; \Delta P_i = 0,109 > 2 \cdot 0,04.$$

Відкидають значення P_{10} , приймають $n = 9$ та повторюють пункти 2 і 3:

$$\bar{P} = \frac{1}{9} \cdot \sum_{i=1}^9 P_i = 10,000 \text{ Вт};$$

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^9 (P_i - 10,000)^2 \cdot \frac{1}{9-1}} = 4,78 \cdot 10^{-3} \text{ Вт.}$$

5. Визначається довірчий інтервал (межі) випадкової похибки результатів спостережень як

$$E = t \cdot S,$$

де t – коефіцієнт (квантиль нормального розподілу) Стьюдента, який в залежності від ймовірності P і числа результатів спостережень береться у додатку В (табл. В3).

6. За нормального закону розподілу результатів спостережень (при числі спостережень $n \leq 15$ приналежність їх нормальному закону не перевіряють) математичне сподівання випадкової величини $M(x)$ із заданою вірогідністю має перебувати в межах (у довірчому інтервалі)

$$\bar{x} - t \cdot \sigma_x^- < M(x) < \bar{x} + t \cdot \sigma_x^-,$$

де σ_x^- – середнє квадратичне відхилення дійсного значення (середнього арифметичного) результатів спостережень,

$$\sigma_x^- = \frac{S}{\sqrt{n}},$$

$$\sigma_x^- = \frac{0,00478}{\sqrt{9}} = 0,0016 \text{ Вт.}$$

Коефіцієнт Стьюдента за таблицею В3 (дод. В) для $n-1=8$ та $P=0,95$; $t=2,31$.

Отже, довірчий інтервал

$$10 - 2,31 \cdot 0,0016 < P < 10 + 2,31 \cdot 0,0016 \text{ або } 9,996 < P < 10,004.$$

Отже, за $P=0,95$ довірчий інтервал $P = (10,004 \pm 0,004)$

$$P = (10 \pm 0,004) \text{ Вт.}$$

Практичні завдання для самостійної роботи

Завдання 1.

Прилад (люксметр/яскравомір), що обирається відповідно до варіанта з таблиці В1 (дод. В) із заданим діапазоном вимірювання має клас точності 0,02/0,01. Необхідно визначити, чому дорівнює освітленість/яскравість за показу 923 лк/127 кд/м².

Завдання 2.

Для приладу, що обирається відповідно до варіанта з таблиці В1 (дод. В), розрахувати значення абсолютних, відносних та приведених основних похибок вимірювань для свого варіанта. Результати оформити у вигляді таблиці 3.2.

Задача 3.

Виконати статистичне оброблення результатів вимірювання, наведених у таблиці 2.3. Значення довірчої вірогідності подано у таблиці В2 (дод. В) та обирається відповідно до варіанта. Результати обчислень звести до таблиці 3.4.

Задача 4.

Визначити невідомі параметри в таблиці Г1 (дод. Г) за варіантом, зняти покази приладу та знайти похибки вимірювань для свого варіанту.

Під час вирішення необхідно враховувати, що чутливість є величина зворотна ціни ділень, а клас точності приладу чисельно дорівнює граничному припустимому значенню приведеної похибки. Знаючи клас точності, можна знайти найбільш можливу абсолютну похибку та навпаки.

Запитання для самоконтролю:

1. Подати визначення класу точності.
2. Для яких засобів вимірювання не встановлюють клас точності?
3. Перший спосіб подання класу точності?
4. Другий спосіб подання класу точності?
5. Третій спосіб подання класу точності?
6. Четвертий спосіб подання класу точності?
7. Чотири варіанти позначення класу точності?

Практичне заняття 4 Оцінка невизначеності вимірювань

Джерелами невизначеності вимірювань є спостережуване розсіювання показань, що використовується під час вимірювання за незмінних умов вимірювань (зумовлює стандартну невизначеність типу А), не виключенні систематичні похибки (НСП) засобу вимірювальної техніки (ЗВТ) (зумовлюють невизначеність типу В).

Невизначеність вимірювання – це невід’ємний параметр, що характеризує дисперсію значень, приписуваних вимірюваній величині, на основі використовуваної інформації.

Параметром може бути, наприклад, стандартне відхилення, що називається стандартною невизначеністю вимірювання (або кратне їй значення), або півширини інтервалу, що має встановлену ймовірність охоплення.

Узагалі невизначеність вимірювання містить багато складових. Одні складові можуть обчислюватися через оцінювання невизначеності вимірювання типу А зі статистичного розподілу значень величини, отриманих із серії вимірювань, та характеризуватися стандартними відхиленнями. Інші складові, що можуть обчислюватися через оцінювання невизначеності вимірювання типу В, також можуть характеризуватися стандартними відхиленнями, що оцінюються з функцій густини ймовірності на основі досвіду та іншої інформації.

Узагалі для цього обсягу інформації зрозуміло, що невизначеність вимірювання пов’язана із заданим значенням, що приписується вимірюваній величині. У результаті змінювання цього значення змінюється пов’язана з ним невизначеність.

Оцінювання невизначеності вимірювання типу А – це оцінювання компоненту невизначеності вимірювання через проведення статистичного аналізу вимірюваних значень величини, отриманих за визначених умов вимірювання.

Оцінювання невизначеності вимірювання типу В – це оцінювання компоненту невизначеності вимірювання, що визначається шляхом відмінним від оцінювання невизначеності вимірювання типу А.

Приклади оцінювання на основі інформації, що

- пов’язана з офіційно опублікованими значеннями величини;
- пов’язана зі значенням величини сертифікованого референтного матеріалу;
- отримана з сертифікату калібрування;
- стосується зсуву;

- отримана з класу точності повіреного засобу вимірювання;
- отримана з границь, встановлених за власним досвідом.

Стандартна невизначеність вимірювання – це невизначеність вимірювання, виражена стандартним відхиленням.

Сумарна стандартна невизначеність вимірювання – це стандартна невизначеність вимірювання, що отримується за допомогою окремих стандартних невизначеностей вимірювання, пов'язаних з вхідними величинами в моделі вимірювання.

Розширена невизначеність вимірювання – це добуток сумарної стандартної невизначеності вимірювання та коефіцієнта, більшого за число один. Термін «коефіцієнт» у цьому визначенні стосується *коефіцієнта охоплення*. Коефіцієнт охоплення залежить від типу розподілу ймовірності вихідної величини в моделі вимірювання та від обраної ймовірності охоплення.

Ймовірність охоплення – це ймовірність того, що набір істинних значень вимірюваної величини міститься в певному інтервалі охоплення. У GUM ймовірність охоплення також позначається терміном «рівень довіри».

Коефіцієнт охоплення – це число, більше за одиницю, на яке помножується сумарна стандартна невизначеність вимірювання для отримання розширеної невизначеності вимірювання. Коефіцієнт охоплення зазвичай позначається літерою k .

Порівняльна характеристика теорії похибок та теорії невизначеності наведена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Порівняльна характеристика теорії похибок та теорії невизначеності

Теорія похибок	Концепція невизначеності
Похибка результату вимірювання	Невизначеність вимірювання
Випадкова похибка	Невизначеність вимірювання типу А
Не виключена систематична похибка (НСП)	Невизначеність вимірювання типу В
Середньоквадратичне відхилення (СКВ)	Стандартна невизначеність результату вимірювання
Довірчі межі результату вимірювання	Розширена невизначеність результату вимірювання
Довірча ймовірність	Ймовірність охоплення
Квантиль (коефіцієнт) розподілу похибки	Коефіцієнт охоплення

Характеристикою закону розподілу є *середнє арифметичне* \bar{x} окремих показань ЗВТ, що приймається за вимірне значення:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (4.1)$$

Відхилення окремих показань ЗВТ x_1, x_2, \dots, x_n від середнього значення \bar{x} описується характеристикою, що називається *дисперсія* (dispersion – розкид, розсіювання):

$$D(x) = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1} = \frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (4.2)$$

Для узгодження розмірності результату вимірювання і розмірності дисперсії із значення дисперсії добувається корінь – *середньоквадратичне відхилення (СКВ)* окремих показів:

$$S(x) = \sqrt{D(x)} = \sqrt{\frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (4.3)$$

Для багаторазового вимірювання характеристикою розкиду є не СКВ окремих показань, а СКВ середніх арифметичних цих показань, і ця характеристика і є *стандартною невизначеністю типу А* (u_A):

$$u_A(\bar{x}) = \frac{S(x)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n - 1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (4.4)$$

Як видно з наведеного вище виразу, вона виявляється в \sqrt{n} разів менше $S(x)$.

Складові типу А характеризуються числами ступенів свободи:

$$\nu_A = n - 1, \quad (4.5)$$

де n – число багаторазових спостережень.

Число ступенів свободи – це параметр статистичного розподілу, рівний числу незалежних зв'язків оцінюваної статистичної вибірки.

Настанова щодо вираження невизначеності вимірювання (GUM) рекомендує розглядати усі результати вимірювань за довірчої ймовірності $p = 0,95$. За цієї ймовірності число ступенів свободи визначається за емпіричною формулою Велча - Саттерстейта:

$$v_{eff} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^m \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad (4.6)$$

Водночас коефіцієнт охоплення визначається за ймовірності $p = 0,95$ за формулою (4.7):

$$k = t_{p=0,95}(v_{eff}), \quad (4.7)$$

використовуючи таблицю 4.2 розподілу Стюдента. Значення V_{eff} округлені до найближчого цілого числа.

Таблиця 4.2 – Розподіл Стюдента

V_{eff}	3	4	5	6	7	8	9	10	16	20	30	∞
$t_{p=0,95}$	3,182	2,776	2,571	2,447	2,365	2,306	2,262	2,228	2,120	2,086	2,042	1,960

Для прямих багаторазових вимірювань із числом спостережень n ця формула може бути надана у вигляді:

$$v_{eff} = (n-1) \left[\frac{u_c(y)}{u_A} \right]^4, \quad (4.8)$$

де $u_c(y)$ – сумарна стандартна невизначеність.

За відсутності вкладів невизначеності типу А формула дає нескінченність, тому коефіцієнт охоплення формально має дорівнювати коефіцієнту Стюдента від нескінченності для ймовірності 0,95, тобто $k = t_{0,95}(\infty) = 2,0$. Таке значення коефіцієнта охоплення відповідає випадку, коли значенням вимірюваної величини приписують нормальний закон розподілу, що є результатом впливу на неї великого числа факторів (джерел невизначеності).

Задача до практичної роботи № 4

Задача 1. Надати оцінку невизначеності типу А, якщо показання ваг за триразового ($n=3$) зважування маси студента склали $m_1 = 62$ кг, $m_2 = 61$ кг і $m_3 = 60$ кг.

Приклад розв'язання:

1. Середнє арифметичне значення цих показань дорівнює:

$$\bar{m} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{62 + 61 + 60}{3} = 61 \text{ кг}.$$

2. Дисперсія окремих показань складе:

$$\begin{aligned} D(m) &= \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1} = \\ &= \frac{(62-61)^2 + (61-61)^2 + (60-61)^2}{3-1} = 1 \text{ кг}^2. \end{aligned}$$

3. СКВ окремих показань складе:

$$S(m) = \sqrt{D(m)} = \sqrt{\frac{(62-61)^2 + (61-61)^2 + (60-61)^2}{3-1}} = 1 \text{ кг}.$$

4. Стандартна невизначеність типу А складе:

$$u_A(\bar{m}) = \frac{S(x)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{(62-61)^2 + (61-61)^2 + (60-61)^2}{3(3-1)}} = 0,58 \text{ кг}.$$

Задача 2. Необхідно визначити результат вимірювання та оцінити невизначеність вимірювання.

Приклад розв'язання:

Проводиться пряме однократне вимірювання освітленості за допомогою люксметра. Показання люксметра $E_x = 1,347$ клк.

1. Складаємо специфікацію вимірювань:

а) аналіз умов вимірювань: вимірювання робляться в лабораторних умовах за температури навколишнього повітря $+25$ °С;

б) аналіз схеми вимірювання:

– межа вимірювання приладу – 2 клк;

в) аналіз технічних характеристик приладу:

– температура навколишнього повітря від 5 °С до 40 °С;

– межа похибки квантування складає $\pm 0,0005$;

– межа основної відносної похибки приладу під час вимірювання освітленості на піддіапазонах 0,2 і 2 000 лк дорівнює значенням, що обчислюються за формулою:

$$\delta = \pm \left[0,25 + 0,2 \left(\frac{E_k}{E_x} - 1 \right) \right] \%,$$

де E_k – значення встановленого піддіапазону вимірювання, клк;

E_x – показання приладу, клк.

– межа додаткової похибки приладу, викликаной зміною температури навколишнього повітря від нормальної до будь-якої в межах робочої області температури, що не більше межі основної похибки на кожні 10 °С зміни температури.

2. Визначаємо складові $u_i(E)$ сумарної невизначеності вимірювання напруги.

1) Основна невизначеність вимірювання обчислюється через вираз для основної відносної похибки δ у припущенні про рівновірогідний розподіл похибки всередині меж.

Оскільки межі відносної похибки рівні:

$$\delta = \pm \left[0,25 + 0,2 \left(\frac{E_k}{E_x} - 1 \right) \right] = \pm \left[0,25 + 0,2 \left(\frac{2}{1,347} - 1 \right) \right] = \pm 0,347 \%,$$

то межі абсолютної похибки визначаються як:

$$\Delta = \delta \cdot E_x / 100 = \frac{\pm 0,347 \times 1,347}{100} = \pm 0,00467 \text{ клк.}$$

Звідси можна розрахувати основну невизначеність вимірювань:

$$u_1 = \frac{0,00467}{\sqrt{3}} = \pm 0,0027 \text{ клк};$$

2) Невизначеність, що обумовлена відхиленням температури від нормальної (20 °C).

Оскільки вимірювання проводилися в лабораторних умовах за температури навколишнього повітря +25 °C, а межа додаткової похибки приладу, викликаной зміною температури навколишнього повітря від нормальної до будь-якої в межах робочої області температури, становить не більше межі основної похибки на кожні 10 °C зміни температури, то додаткова температурна невизначеність буде дорівнювати:

$$u_2 = \frac{25 - 20}{10} u_1 = 0,5 u_1 = \pm 0,00135 \text{ клк};$$

3) Невизначеність квантування u_3 освітленості, що вимірюється дорівнює межі похибки квантування, поділеній на коефіцієнт охоплення для рівномірного закону розподілу:

$$u_3 = \frac{0,0005}{\sqrt{3}} \approx \pm 0,00029 \text{ клк}.$$

3. Складаємо бюджет невизначеності. Результати надаються у вигляді таблиці. Форма складання бюджету невизначеності вимірювання наведена у таблиці 4.3.

4. **Кореляція:** жодна з вхідних величин не розглядається корельованою з другими в який-небудь значній мірі.

5. Знаходимо сумарну невизначеність вихідної величини відповідно до виразу:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2(y)} = \sqrt{c_1^2 u_1^2(x_1) + c_2^2 u_2^2(x_2) + \dots + c_m^2 u_m^2(x_m)}$$

$$u_c(E) = \sqrt{(0,0027)^2 + (0,00135)^2 + (0,00029)^2} = 0,00303 \text{ клк}.$$

Таблиця 4.3 – Бюджет невизначеності вимірювання

Вхідні величини	Оцінки вхідних величин	Стандартна невизначеність вхідних величин	Розподіл ймовірностей
Покази приладу E_x	1,347 клк	–	–
Основна похибка	–	$u_1 = \pm 0,002\ 7$ клк	Рівномірний
Температурна похибка	–	$u_2 = \pm 0,001\ 35$ клк	Рівномірний
Похибка квантування	–	$u_3 = \pm 0,000\ 29$ клк	Рівномірний
E	1,347 клк	$u(y) = 0,003$ клк	

6. Розрахуємо розширену невизначеність, скориставшись даними таблиці 4.2 з урахуванням того, що всі п'ять складових розподілені згідно з рівномірним законом і частка $|u_2 / u_1| = 0,5$ для рівня довіри $p = 0,95$, отримуємо $k = 1,9$, і таким чином

$$U = k u_c(E) = 1,9 \times 0,003\ 03 = 0,005\ 8 \text{ клк.}$$

7. Записуємо результат вимірювання у вигляді:

$$E = (1,347 \pm 0,006) \text{ клк, } p = 0,95.$$

Задача 3. Надати оцінку невизначеності типу А під час проведення калібрування люксметра (табл. 4.4). Межа допустимої основної абсолютної похибки $\pm 1,0$ лк у діапазоні температур від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Приклад розв'язання:

Необхідно визначити результат вимірювання і невизначеність показань.

1. Складаємо специфікацію вимірювання:

а) аналіз умов вимірювання:

– вимірювання проводяться в лабораторних умовах за температури навколишнього повітря $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вологості 70 %;

б) аналіз технічних характеристик робочого еталону:

– як робочий еталон (РЕ) виберемо прецизійний цифровий люксметр ТЕС з межею основної абсолютної погрішності $\pm 0,036$ лк.

Таблиця 4.4 – Результати вимірювань під час калібрування

n	Показання робочого еталону, лк	Показання люксметра, що калібрується, лк
1	30,353	30,4
2	30,353	30,6
3	30,353	30,5
4	30,353	30,7
5	30,353	30,8
6	30,353	30,4
7	30,353	30,9
8	30,353	30,7
9	30,353	30,4
10	30,353	30,6

2. Визначимо невизначеність типу А. Перевіримо наявність грубих похибок і промахів. Для цього розрахуємо

– середнє арифметичне показань приладу, що атестується:

$$\bar{E} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^n E_i = 30,60 \text{ лк};$$

– стандартне відхилення результатів від середнього арифметичного:

$$S(E) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2} = 0,1764 \text{ лк};$$

– інтервал невизначеності, що відповідає рівню довіри 0,9973 в припущенні нормального закону розподілу результатів спостережень

$$\varepsilon = 3S = 0,5292 \text{ лк};$$

– межі цього інтервалу для результатів спостережень:

$$E_{\min} = 30,07 \text{ лк}; E_{\max} = 31,13 \text{ лк}.$$

Усі результати вимірювань не виходять за межі інтервалу.

Обчислимо стандартне відхилення результату вимірювання (середнього арифметичного) – невизначеність типу А:

$$u_a = S_E = \frac{S(E)}{\sqrt{10}} = 0,0558 \text{ лк.}$$

3. Оцінимо складові сумарної стандартної невизначеності типу В:

1) невизначеність, обумовлена похибкою еталону:

$$u_{cm} = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{0,036}{\sqrt{3}} = 0,021 \text{ лк.}$$

2) невизначеність, обумовлена дискретністю еталону:

$$u_{dpe} = \frac{0,001}{\sqrt{3}} = 0,000289 \text{ лк.}$$

Ця складова невизначеності не братиме участь у подальших розрахунках, оскільки істотно менше інших складових;

3) невизначеність, обумовлена дискретністю люксметра:

$$u_1 = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,289 \text{ лк.}$$

Звідси сумарна стандартна невизначеність за типом В складе:

$$u_b = \sqrt{u_{cm}^2 + u_1^2},$$

$$u_b = \sqrt{0,021^2 + 0,289^2} = 0,290 \text{ лк.}$$

4. Складаємо бюджет невизначеності (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Бюджет невизначеності вимірювання освітленості

Вхідна величина	Оцінка вхідної величини	Стандартна невизначеність, лк	Число ступенів свободи	Розподіл вірогідності вхідної величини	Коефіцієнт чутливості	Вклад невизначеності, лк
Освітленість	30,60 лк	0,055 8	9	Нормальний	1	0,055 8
Похибка еталону	—	0,021	∞	Рівномірний	1	0,021
Похибка дискретності люксметра	—	0,289	∞	Рівномірний	1	0,289
Вихідна величина	Оцінка вихідної величини	Стандартна сумарна невизначеність, лк	Ефективне число ступенів свободи	Рівень довіри	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність, лк
E	30,60 лк	0,295	7 038	$p = 0,95$	1,96	0,578

5. Кореляція: жодна з вхідних величин не розглядається корельованою з іншими в якій-небудь значній мірі.

6. Обчислимо сумарну невизначеність вихідної величини:

$$u_c(Y) = \sqrt{u_a^2 + u_b^2} = \sqrt{0,0558^2 + 0,290^2} = 0,295 \text{ лк.}$$

7. Оцінимо розширену невизначеність для рівня довіри 0,95.

Визначимо розширену невизначеність результату вимірювання як

$$U = k u_c(Y),$$

де k – коефіцієнт охоплення, що визначається за формулою Велча - Саттерсвейта (4.8), як коефіцієнт Стюдента з ефективним числом ступенів свободи ν_{eff} :

$$\nu_{eff} = (n-1) \left[\frac{u_c(y)}{u_A} \right]^4,$$

$$\nu_{eff} = (10-1) \left[\frac{0,295}{0,0558} \right]^4 = 7\,038.$$

Для ν_{eff} (числа ступенів свободи), близькому до ∞ , значення коефіцієнта Стюдента:

$$k = t_{P=0,95}(\nu_{eff}) = 1,96.$$

Тому розширена невизначеність показань люксметра буде дорівнювати:

$$U = k u_c(E) = 1,96 \times 0,295 = 0,578 \text{ лк.}$$

8. Запишемо результат показань люксметра у вигляді:

$$E = (30,6 \pm 0,6) \text{ клк, } p = 0,95.$$

Контрольна робота за першим змістовним модулем

Задача 1. Визначити розмірність фізичної величини за поданим рівнянням. $E = F / A$, $\dim E = ?$

Задача 2. Надати порівняльну характеристику шкали інтервалів та шкал відношень? Наведіть приклади.

Задача 3. Визначити інші параметри ЗВТ, якщо відомо:

1. Назва приладу: манометр.
2. Кількість ділень шкали $N = 100$.
3. Верхня межа вимірювань $P_N = 0,4$ Па.
4. Ціна ділення C ?
5. Чутливість приладу S ?
6. Показання приладу в діленнях $n = 60$.
7. Значення величини, що вимірювали P ?
8. Клас точності 1,0.
9. Найбільша можлива абсолютна похибка вимірювань ΔP ?
10. Найбільша можлива відносна похибка вимірювань δP ?

Задача 4. Виконати статистичне оброблення результатів вимірювання, $E \{979,1; 979,5; 978,9; 978,4; 979,6; 1002,5; 979,3; 979,3\}$ лк, $n=8$.

Значення довірчої вірогідності $p = 0,95$.

Практичне заняття 5

Стандартизація в світлотехніці

Практичні заняття за другим змістовим модулем передбачають проведення семінарів за темами, наведеними нижче.

Для участі в семінарі студент повинен обрати тему та підготувати доклад-презентацію, що буде заслухано іншими студентами на практичному занятті та підлягає обов'язковому обговоренню та відповіді на питання.

План проведення семінарів за темою «Стандартизація в світлотехніці»

Тема докладу (обирається студентом):

1. Історія становлення вітчизняної стандартизації.
2. Основні історичні періоди розвитку світової стандартизації.
3. Форми стандартизації.
4. Основні принципи та методи стандартизації.
5. Напрями та види уніфікації.
6. Міжнародна електротехнічна комісія (IEC, 1906 р.).
7. Європейський комітет зі стандартизації (CEN).
8. Національні системи стандартизації. Німецький інститут стандартизації – DIN.
9. Національні системи стандартизації. Британський інститут стандартів – BSI.
10. Національні системи стандартизації. Французька асоціація з стандартизації – AFNOR.
11. Системи стандартизації в США.
12. Японський комітет промислових стандартів – JISC.
13. Система глобальної стандартизації.
14. Державний нагляд за додержанням стандартів норм та правил.
15. Стандартизація систем управління якістю. Міжнародні стандарти серій ISO 9000 та ISO 10000.
16. Стандартизація послуг.
17. Стандартизація та екологія.

Практичне заняття 6

Сертифікація та оцінка відповідності в світлотехніці

Практичні заняття за другим змістовим модулем передбачають проведення семінарів за темами, наведеними нижче.

Для участі в семінарі студент повинен обрати тему та підготувати доклад-презентацію, що буде заслухано іншими студентами на практичному занятті та підлягає обов'язковому обговоренню та відповіді на питання.

План проведення семінарів за темою «Сертифікація та оцінка відповідності в світлотехніці»

Тема доповіді (обирається студентом):

1. Динаміка історичного розвитку сертифікації.
2. Міжнародні організації з сертифікації.
3. Знак відповідності стандартам VDE.
4. Відмінні ознаки обов'язкової та добровільної сертифікації.
5. Особливості Директив ЄС «нового підходу».
6. Сертифікація і технічні бар'єри в торгівлі.
7. Концептуальні принципи національної політики в галузі сертифікації.
8. Основні функції учасників сертифікації.
9. Відмінності між світовою і вітчизняною практикою стандартизації і сертифікації.
10. Порядок проведення сертифікації продукції в Україні.
11. Український знак відповідності системи УкрСЕПРО.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Оцінювання невизначеності прямих багатократних вимірювань

Проводяться прямі багатократні вимірювання за допомогою електронного приладу. Необхідно отримати оцінку вимірюваної величини і оцінити невизначеність її вимірювання.

Під час виконання розрахунково графічної роботи потрібно використовувати результати спостережень при багаторазових вимірах для варіантів за різних значень кількості спостережень n (видає викладач):

- 1, 2, 3, 4, 5, 6 – значення освітленості;
- 7, 8, 9, 10, 11 – значення яскравості;
- 12, 13, 14, 15, 16 – значення потужності.

Таблиця 7.1 – Результати спостережень за варіантами

Кількість спостережень	E , лк	L , кд/м ²	P , Вт	Кількість спостережень	E , лк	L , кд/м ²	P , Вт
1	979,1	99,1	40,92	9	976,5	99,5	40,95
2	979,5	99,5	40,94	10	979,4	97,9	40,92
3	978,9	98,9	40,91	11	979,7	99,7	40,99
4	978,4	99,4	40,98	12	976,1	99,2	40,96
5	979,6	99,6	40,96	13	976,5	99,5	40,95
6	1002,5	99,3	40,37	14	979,7	99,1	40,97
7	979,3	99,4	40,97	15	978,9	99,5	40,96
8	979,3	99,9	40,93	16	979,6	98,9	40,94

Додаткові дані:

$t_{сч}$ – час рахунку приладу, 1с.

δ_0 – відносна похибка по нестабільності приладу, дорівнює не менш ніж 2 %, у розрахунках беремо 0,02;

температурний коефіцієнт не більше $k_t = 1 \cdot 10^{-3}$ на кожен 1 °С зверху температури калібрування (20 °С).

Задача:

1. Скласти специфікацію вимірювань.
2. Виключити з результатів вимірювання грубі похибки та промахи.
3. Оцінити невизначеність вимірювань типу *A*.
4. Обчислити сумарну невизначеність типу *B* результату вимірювання.
5. Обчислити сумарну невизначеність вихідної величини.
6. Оцінити розширену невизначеність для рівня довіри 0,95.
7. Скласти бюджет невизначеності (табл. 2).
8. Записати результат вимірювання.

Приклад розрахунку:

Проводяться прямі багатократні вимірювання світлового потоку за допомогою електронного гоніофотометра. Показання гоніофотометра Φ_{ind} складають, лм:

151 348; 151 342; 151 344; 151 346; 151 348; 151 349; 151 345; 151 351;
151 343; 151 344; 151 359; 151 350; 151 347; 151 348; 151 346; 151 352;
151 345; 151 349; 151 347; 151 346.

Необхідно отримати оцінку вимірюваного світлового потоку й оцінити невизначеність вимірювання.

Хід роботи

1. Складаємо специфікацію вимірювань:

а) аналіз умов вимірювань:

– вимірювання проводяться в лабораторних умовах за температури навколишнього повітря +25 °С;

б) аналіз схеми вимірювання:

– час рахунку приладу – 10 мс;

в) аналіз технічних характеристик приладу:

– робочі умови застосування приладу: температура навколишнього повітря від – 30 °С до +50 °С;

– відносна похибка вимірювання частоти синусоїдних сигналів $\delta\Phi$ у межах значень, розрахованих за формулою:

$$\delta\Phi = \pm \left(\delta_0 + \frac{1}{\Phi_{вим} t_{сч}} \right),$$

де δ_0 – відносна похибка по частоті внутрішніх коливань, дорівнює не менш ніж $\pm 5 \times 10^{-7}$;

$\frac{1}{\Phi_{вим} t_{сч}}$ – похибка квантування, у вираженні для якої $\Phi_{вим}$ – світловий потік, лм; $t_{сч}$ – час рахунку, с.

– температурний коефіцієнт не більше $k_t = 1 \cdot 10^{-9}$ на кожен 1 °С зверху температури калібрування (20 °С).

2. Усунемо з результатів вимірювання грубі похибки.

Для цього розрахуємо

– середнє арифметичне отриманих результатів:

$$\bar{\Phi} = \frac{1}{20} \sum_{k=1}^{20} \Phi_{indk} = 151\,347,5 \text{ лм};$$

– стандартне відхилення результатів від середнього арифметичного:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (\Phi_{indk} - \bar{\Phi})^2} = 3,78 \text{ лм};$$

– інтервал невизначеності, що відповідає рівню довіри 0,997 3 у припущенні нормального закону розподілу результатів спостережень:

$$\varepsilon = 3s = 11,33 \text{ лм};$$

– межі цього інтервалу для результатів спостережень:

$$\Phi_{\min} = 151\,336,1 \text{ лм}; \quad \Phi_{\max} = 151\,358,8 \text{ лм};$$

Найбільший результат спостереження 151 359 лм виходить за межі розрахованого інтервалу, тому усувається з результатів спостереження як обтяжений грубою похибкою.

3. Оскільки систематичні похибки невідомі, не виключаємо.

4. Обчислимо середнє арифметичне виправлених результатів спостережень, що приймається за результат вимірювання:

$$\Phi = \frac{1}{19} \sum_{k=1}^{19} \Phi_{ind\ k} = 151\,346,8 \text{ лм.}$$

5. Обчислимо експериментальне стандартне відхилення результату спостереження:

$$s = \sqrt{\frac{1}{18} \sum_{k=1}^{19} (\Phi_{ind\ k} - \bar{\Phi})^2} = 2,69 \text{ лм.}$$

6. Обчислимо експериментальне стандартне відхилення результату вимірювання (середнього арифметичного) – невизначеність за типом А:

$$u_a = s(\Phi) = s / \sqrt{19} = 617 \text{ лм.}$$

7. Оцінимо складові сумарної стандартної невизначеності типу В $u_i \Phi_{вим}$ похибок вимірювача.

У вираз для відносної похибки вимірювання частоти входять дві складові – нестабільність частоти внутрішніх коливань і похибка квантування, що підсумовуються алгебраїчно. Під час визначення сумарної невизначеності вимірювання невизначеність кожної складової оцінюється окремо.

7.1 Невизначеність частоти внутрішніх коливань гоніофотометра обчислюється через вираз для основної відносної похибки $\delta \Phi_{вим}$ у припущенні про рівновірогідний розподіл похибки всередині меж.

Межі відносної похибки δ_0 не перевищують $\pm 5 \times 10^{-7}$.

Межі абсолютної похибки будуть у цьому випадку дорівнювати:

$$\Delta_0 = \Phi \times \delta_0 = \pm 5 \times 10^{-7} \times 151\,346,8 = \pm 0,076 \text{ лм.}$$

Стандартна невизначеність частоти u_1 , буде дорівнювати:

$$u_1 = |\Delta_0| / \sqrt{3} = 0,044 \text{ лм.}$$

7.2 Невизначеність квантування u_2 визначається з меж похибки квантування:

$$\Delta_{\kappa\phi} = \pm \frac{1}{\Phi_{\text{вим}} t_{\text{сч}}} \Phi_{\text{вим}} = \pm \frac{1}{t_{\text{сч}}} = \pm \frac{1}{10 \times 10^{-3}} = \pm 100 \text{ лм},$$

$$u_2 = |\Delta_{\kappa\phi}| / \sqrt{3} = 57,7 \text{ лм}.$$

7.3 Невизначеність u_3 , обумовлена різницею температур довкілля від 20 °С (температура калібрування t_k) до 25 °С (температура довкілля у момент вимірювань $t_{\text{вим}}$), обчислена через температурний коефіцієнт частоти у припущенні про рівновірогідний розподіл похибки усередині меж, буде дорівнювати:

$$u_3 = \Phi_{\text{вим}} |t_{\text{вим}} - t_k| k_t / \sqrt{3} = 151346,84 \times (25 - 20) \times 10^{-9} / \sqrt{3} = 0,000 437 \text{ лм}.$$

Не треба враховувати!!!!

8. Складаємо бюджет невизначеності (табл. 7.2).

9. Кореляція: жодна з вхідних величин не розглядається корельованою з іншими в якій-небудь значній мірі.

10. Обчислимо сумарну невизначеність типу B результату виміру:

$$u_{\text{св}}(\Phi) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 73 \text{ лм}.$$

11. Обчислимо сумарну невизначеність вихідної величини

$$u_c(\Phi) = \sqrt{s^2(\Phi) + u_{\text{св}}^2(\Phi)} = 621 \text{ лм}.$$

Таблиця 7.2 – Бюджет невизначеності вимірювання світлового потоку

Вхідна величина	Оцінка вхідної величини	Стандартна невизначеність, лм	Кількість ступенів свободи	Розподіл вірогідності вхідної величини	Коефіцієнт чутливості	Вклад невизначеності
Світловий потік $\Phi_{вим}$	151346,8 лм	617 лм	18	Нормальний	1	617 лм
Нестабільність частоти опорного генератора	–	0,044 лм	∞	Рівномірний	1	0,044 лм
Похибка квантування	–	58 лм	∞	Рівномірний	1	58 лм
Температурна похибка	–	0,00044 лм	∞	Рівномірний	1	0,00044 лм
Вихідна величина	Оцінка вихідної величини	Стандартна сумарна невизначеність	Ефективне число ступенів свободи	Рівень довіри	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність
$\Phi_{вим}$	151346,8 лм	621 лм	18	$p = 0,95$	2,1	1304 лм

12. Оцінимо розширену невизначеність для рівня довіри 0,95.

Визначимо розширену невизначеність результату вимірювання, як для рівня довіри 0,95:

$$U = k u_c(\Phi),$$

де k – коефіцієнт охоплення, що визначається за формулою Велча – Саттерсвейта, як коефіцієнт Стюдента з ефективною кількістю ступенів свободи ν_{eff} :

$$\nu_{eff} = (n-1) \left(\frac{u_c}{u_A} \right)^4,$$

$$\nu_{eff} = (19-1) \left(\frac{621}{617} \right)^4.$$

Округлюємо ν_{eff} у меншу сторону (для набуття більшого значення коефіцієнта Стюдента):

$$\nu_{eff} = 18.$$

Коефіцієнт Стюдента для кількості ступенів свободи 18 визначаємо з таблиці 3:

$$k = t_{0,95}(\nu_{eff}) = 2,1.$$

Таблиця 3 – Значення коефіцієнта $t_p(\nu)$ для випадкової величини, що має розподіл Стюдента з ν ступенями свободи для рівня довіри 0,95

ν	$t_p(\nu)$	ν	$t_p(\nu)$	ν	$t_p(\nu)$	ν	$t_p(\nu)$
1	12,71	11	2,20	21	2,08	35	2,03
2	4,30	12	2,18	22	2,07	40	2,02
3	3,18	13	2,16	23	2,07	45	2,01
4	2,78	14	2,15	24	2,06	50	2,01
5	2,57	15	2,13	25	2,06	60	2,00
6	2,45	16	2,12	26	2,06	70	1,99
7	2,37	17	2,11	27	2,05	80	1,99
8	2,31	18	2,10	28	2,05	90	1,99
9	2,26	19	2,09	29	2,05	100	1,98
10	2,23	20	2,09	30	2,04	∞	1,96

Тому розширена невизначеність виміру світлового потоку буде дорівнювати:

$$U = k u_c(\Phi) = 2,1 \cdot 621 = 1\,304 \text{ лм.}$$

13. Записуємо результат вимірювання у вигляді

$$\Phi_{\text{вим}} = (151346,8 \pm 1304) \text{ лм, } p = 0,95.$$

Контрольні питання для захисту РГР

1. Обґрунтуйте поняття невизначеності вимірювань та назвіть способи обчислення невизначеності типу А. (3 бали)
2. Порівняйте характеристики похибки та невизначеності вимірювань. (4 бали)
3. Що таке специфікація вимірювань, склад та призначення? (3 бали)
4. Порядок обчислення сумарної невизначеності вихідної величини $u_c(X)$. (4 бали)
5. Від яких параметрів залежить коефіцієнт охоплення? (2 бали).
6. З чого складається бюджет невизначеності? (2 бали).

Для захисту ІЗ студент може обрати питання, сума відповідей на які повинна становити 10 балів. Наприклад, 1, 3, 4 питання, або 2, 4, 5 або 6 питання.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Неєжмаков П. І. Стандартизація та сертифікація в світлотехніці : конспект лекцій для студентів денної і заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр» напряму підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології та спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / П. І. Неєжмаков, К. І. Суворова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 120 с.
2. Бичківський Р. В. Метрологія, стандартизація, управління якістю та сертифікація : підручник / Р. В. Бичківський, П. Г. Столярчук, П. Р. Гамула ; Нац. ун-т «Львівська політехніка». – 2-ге вид., випр. і доп. – Львів : НУ «ЛП», 2004. – 560 с.
3. Вступ до квантової метрології: підручник для студентів ВНЗ / Ю. Ф. Павленко, С. І. Кондрашов, П. І. Неєжмаков [та ін.]; За ред. Ю. Ф. Павленка. – Харків: ФОП Мезіна В.В., 2017. – 244 с.
4. Бойко Т. Г. Основи стандартизації : навч. посіб. / Т. Г. Бойко ; Нац. ун-т «Львівська політехніка». – Львів : НУ «ЛП», 2004. – 232 с.
5. Кириченко Л. С. Основи стандартизації, метрології, управління якістю : навч. посібник / Л. С. Кириченко, Н. В. Мережко ; Нац. торг.-екон. ун-т. – Київ : КНТЕУ, 2001. – 446 с.
6. Лифиц И. М. Основы стандартизации, метрологии, сертификации : учебник / И. М. Лифиц. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт-М, 2001. – 268 с.
7. Саранча Г. А. Метрологія, стандартизація, відповідність, акредитація та управління якістю : підручник / Г. А. Саранча. – Київ : Центр навчальної літератури, 2006. – 672 с.
8. Крылова Г. Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии : учебник для вузов / Г. Д. Крылова. – М. : Аудит, ЮНИТИ, 1998. – 479 с.
9. Шаповал М. І. Основи стандартизації, управління якістю і сертифікації : підручник / М. І. Шаповал ; Європ. ун-т фінансів, інформ. систем, менеджм. і бізнесу – 3-тє вид., перероб. і доп. – Київ : СУФІМБ, 2000. – 174 с.
10. Назаренко Л. А. Штучне зовнішнє освітлення : навч. посібник / Л. А. Назаренко, К. І. Іоффе ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 88 с.
11. Про метрологію та метрологічну діяльність : Закон України від 05.06.2014 № 1314-VII // Відомості Верховної Ради. – 2014. – № 87. – С. 156–218.
12. Про стандартизацію : Закон України від 05.06.2014 № 1315-VII // Відомості Верховної Ради. – 2014. – № 31. – ст. 1085.

13. Про технічні регламенти та оцінку відповідності : Закон України від 15.01.2015 № 124-VIII // Відомості Верховної Ради. – 2015. – № 14. – ст. 96.
14. Про підтвердження відповідності : Закон України від 17.05.2001 № 2406-III // Відомості Верховної Ради. – 2001. – № 32. – ст. 169.
15. Про акредитацію органів з оцінки відповідності : Закон України від 17.05.2001 № 2407-III (зі змінами 2015 р.) // Відомості Верховної Ради. – 2001. – № 32. – ст. 170.
16. Про захист прав споживачів : Закон України від 15 груд. 1993 р. № 1023-ХП (№ 1791-VIII від 20.12.2016) // Відомості Верховної Ради. – 2017. – № 4. – ст. 42.
17. Про державний нагляд за додержанням стандартів, норм і правил та відповідальність за їх порушення : Декрет Кабінету Міністрів України від 08.04.1993 № 30-93 // Відомості Верховної Ради. – 1993. – № 23. – ст. 247.
18. Про стандартизацію і сертифікацію : Декрет Кабінету Міністрів України від 10.05.1993 № 46-93 // Відомості Верховної Ради. – 1993. – № 27. – ст. 289.
19. Про внесення змін до Декрету Кабінету Міністрів України «Про державний нагляд за додержанням стандартів, норм і правил та відповідальність за їх порушення» : Закон України від 20.02.2003 № 544-IV // Відомості Верховної Ради. – 2003. – № 16. – ст. 126 – 129.
20. Про забезпечення єдності вимірювань : Декрет Кабінету Міністрів України від 26.04.1993 № 40-93 // Відомості Верховної Ради. – 1993. – № 26. – ст. 278.
21. Про затвердження визначень основних одиниць SI, назв та визначень похідних одиниць SI, десяткових кратних і частинних від одиниць SI, дозволених позасистемних одиниць, а також їх позначень та Правил застосування одиниць вимірювання і написання назв та позначень одиниць вимірювання і символів величин. Зареєстровано в Мін'юсті 25.08.2015 за № 1022/27467 // Міністерство юстиції України. – 2015. – № 1941.
22. Сайт Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.kname.edu.ua.
23. Сайт Національного наукового центру «Інститут метрології» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.metrology.kharkov.ua/>.
24. Сайт Organisation Internationale de Normalisation (ISO) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.iso.org/>.

ДОДАТОК А

Префікси кратних та частинних одиниць

Таблиця А1 – Префікси кратних одиниць

Кратність	Префікс		Позначення		Приклад
	українське	міжнародне	українське	міжнародне	
10^1	дека	deca	да	da	дал – декалітр
10^2	гекто	hecto	г	h	га – гектар
10^3	кіло	kilo	к	k	кг – кілограм
10^6	мега	mega	М	M	МДж – мегаджоуль
10^9	гіга	giga	Г	G	ГГц – гігагерц
10^{12}	тера	tera	Т	T	ТВ – теравольт
10^{15}	пета	peta	П	P	Пфлоп – петафлоп
10^{18}	екса	exa	Е	E	
10^{21}	зета	zetta	З	Z	
10^{24}	йота	yotta	Й	Y	

Таблиця А2 – Префікси частинних одиниць

Частка	Префікс		Позначення		Приклад
	українське	міжнародне	українське	міжнародне	
10^{-1}	деци	deci	д	d	дм — дециметр
10^{-2}	санти	centi	с	c	см — сантиметр
10^{-3}	мілі	milli	м	m	мл — мілілітр
10^{-6}	мікро	micro	мк	μ	мкм — мікромметр, мікрон
10^{-9}	нано	nano	н	n	нм — нанометр
10^{-12}	піко	pic	п	p	пФ — пікофарад
10^{-15}	фемто	femto	ф	f	фс — фемтосекунда
10^{-18}	ато	atto	а	a	
10^{-21}	зепто	zepto	з	z	
10^{-24}	йокто	yocto	й	y	

ДОДАТОК Б

Значення мір в метричній системі

Таблиця Б1 – Значення мір у метричній системі

Назва	Значення в метричній системі	
1	2	3
Міри довжини		
Верста = 100 сажнів	км	1,07
Сажень = 3 аршини = 7 футів	м	2,133 6
Косовий сажень	м	2,480 0
Маховий сажень	м	1,760 0
Лікоть	м	0,400 0
Сотка	мм	21,336 0
Аршин = 16 вершків = 28 дюймів	мм	711,200
Вершки	мм	44,450 0
Фут = 12 дюймів	мм	304,800
Дюйм	мм	25,400 0
Лінія = 10 крапок	мм	2,540 0
Крапка	мм	0,254 0
П'ядь	см	17,78
Міри площі		
Квадратна верста	км ²	1,138 0
Десятина	м ²	10,925
Квадратний сажень	м ²	4,552 0
Квадратний аршин	м ²	0,050 6
Квадратні вершки	см ²	19,758
Квадратний фут	дм ²	9,290 0
Квадратний дюйм	см ²	6,452 0
Квадратна лінія	мм ²	6,452 0
Міри об'єму		
Кубічний сажень	м ³	9,713 0
Кубічний аршин	м ³	0,359 7
Кубічні вершки	см ³	87,824 0
Кубічний фут	дм ³	28,317 0
Кубічний дюйм	см ³	16,387 0
Кубічна лінія	мм ³	16,387 0
Цebro	л	12,299
Штоф (кружка)	л	1,230 0
Пляшка винна	л	0,768 7
Пляшка горілочна	л	0,615 0
Чарка = 2 шкалики	мл	123,000

Продовження таблиці Б1

1	2	3
Шкалик	мл	61,500 0
Чверть (для сипучих тіл)	м ³	0,262 4
Чверть (для рідин)	л	3,075 0;
Міри ваги		
Берковец = 10 пудів	кг	163,800
Пуд = 40 фунтів	кг	16,381 0
Фунт = 32 лота = 96 золотників	г	409,500 0
Фунт артилерійський	г	489,000 0
Лот = 3 золотники	г	12,800 0
Золотник = 96 часток	г	4,266 0
Частка	мг	44,435 0

ДОДАТОК В

Варіанти завдань для розрахунку

Таблиця В1 – Варіанти для розрахунку Задача 2 практичної роботи № 3

№	Назва	Клас точності	Шкала вимірювання	Виміряні значення
1	2	3	4	5
1	Люксметр	0,02	40...4 000 лк	40, 200, 600, 900, 1 300, 1 900, 2 600, 3 800 лк
2				200, 600, 900, 1 300, 1 600, 1 900, 2 600, 3 900 лк
3	Яскравомір	0,01	0...4 000 кд/м ²	0, 200, 400, 800, 1 000, 1 200, 1 600, 2 000 кд/м ²
4				10, 100, 300, 700, 1 000, 1 200, 1 700, 2 200, 3 600 кд/м ²
5	Люксметр	0,1	0...5 000 лк	0, 50, 100, 300, 600, 900, 1 400, 1 900, 2 200, 2 700 лк
6				50, 120, 350, 680, 940, 1 460, 1 940, 3 690 лк
7	Яскравомір	0,003	0...10 000 кд/м ²	500, 1 000, 1 500, 2 200, 2 900, 3 500 кд/м ²
8				0, 600, 1 100, 1 600, 2 800, 3 100, 3 900, 4 600, 5 700, 6 900 кд/м ²
9	Люксметр	0,003	50...10 000 лк	1 000, 1 800, 2 800, 3 400, 4 400, 5 000, 7 200 лк
10				400, 1 100, 2 200, 3 900, 4 700, 5 100, 7 700 лк
11	Яскравомір	0,02	0...7 000 кд/м ²	0, 800, 1 600, 2 400, 3 500, 4 800, 5 600, 7 000 кд/м ²
12				100, 800, 2 000, 3 100, 4 200, 5 300, 6 300, 7 000 кд/м ²
13	Люксметр	0,002	0...8 000 лк	0, 200, 700, 1 000, 3 000, 5 000, 8 000 лк
14				0, 100, 300, 600, 900, 1 400, 2 000, 2 900, 3 200, 4 700 лк

Таблиця В2 – Значення довірчої вірогідності P за варіантом розрахунку

Варіант	P	Варіант	P
1	0,90	9	0,95
2	0,95	10	0,98
3	0,98	11	0,95
4	0,99	12	0,90
5	0,998	13	0,999
6	0,999	14	0,90
7	0,90	15	0,95
8	0,95	16	0,98

Таблиця В3 – Коефіцієнти Стюдента

Кількість спостережень n	Значення коефіцієнта Стюдента t за довірчої вірогідності P					
	0,9	0,95	0,98	0,99	0,998	0,999
1	2	3	4	5	6	7
1	6,31	12,7	31,8	63,7	318,3	637,0
2	2,92	4,30	6,96	9,92	22,33	31,6
3	2,35	3,18	4,45	5,84	10,22	12,9
4	2,13	2,78	3,75	4,60	7,17	8,61
5	2,02	2,57	3,36	4,03	5,89	6,86
6	1,94	2,45	3,14	3,71	5,21	5,96
7	1,89	2,36	3,00	3,50	4,79	5,41
8	1,86	2,31	2,90	3,36	4,50	5,04
9	1,83	2,26	2,82	3,25	4,30	4,78
10	1,81	2,23	2,76	3,17	4,14	4,59
11	1,80	2,20	2,72	3,11	4,03	4,44
12	1,78	2,18	2,68	3,05	3,93	4,32
13	1,77	2,16	2,65	3,01	3,85	4,22
14	1,76	2,14	2,62	2,98	3,79	4,14
15	1,75	2,13	2,60	2,95	3,73	4,07

ДОДАТОК Г

Варіанти завдань для розрахунку

Таблиця Г1 – Варіанти розрахунку завдання 4 практичної роботи № 3

Варіант	Найменування приладу	Кількість поділок шкали	Верхня межа вимірювань	Ціна ділення	Чутливість	Показник приладу в діленнях	Значення вимірюваної величини	Клас точності	Найбільш можлива абсолютна похибка вимірювань	Найбільша можлива відносна абсолютна похибка вимірювань
1	Амперметр	50	5А			37		1,5		
2	Манометр	100	0,4 Па			60		1,0		
3	Вольтметр	60			2	26			0,45 В	
4	Манометр	200	10 Па			150		0,4		
5	Амперметр		3 А		10		2 А		0,045 А	
6	Вольтметр		250 В		0,2		220 В	1,5		
7	Манометр	40	1,6 кПа			36			40 Па	
8	Вольтметр	150		0,1 В		48		0,5		
9	Термометр	100	100 °С			62		0,2		
10	Ваттметр	150		0,1 кВт			3,8 кВт	0,5		
11	Амперметр		20 А	0,1 А			15 А		0,05 А	
12	Термометр		400 К	2 К		130			0,04 К	
13	Термометр		350 °С		0,2		250 °С	1,5		
14	Вакуумметр	100		1 Па		12			0,02 Па	
15	Ваттметр	100			2	42			0,05 Вт	
16	Вакуумметр		100 Па	2 Па			58 Па		0,4 Па	
17	Манометр		20 кПа	0,1 кПа			15 кПа	0,2		

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації
до виконання практичних завдань, самостійного вивчення курсу та виконання
розрахунково-графічної та контрольних робіт
з навчальної дисципліни

«СТАНДАРТИЗАЦІЯ І СЕРТИФІКАЦІЯ В СВІТЛОТЕХНІЦІ»

*(для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Укладачі: **НЕЄЖМАКОВ** Павло Іванович,
СУВОРОВА Кристина Ігорівна,
КОЛЕСНИК Анастасія Ігорівна,
МОЖАРОВСЬКА Тетяна Василівна

Відповідальний за випуск *К. І. Суворова*

Редактор О. В. Михайленко

Комп'ютерне верстання *А. І. Колесник*

План 2017, поз. 222 М

Підп. до друку 16.03.2018 Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 1,8.

Тираж 50 пр. Зам. № .

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.